

## Steer-by-wire system for automobile has steering motor for steered wheels controlled in dependence on detected steering wheel rotation and resistance force of steered wheels

Publication number: DE10052559

Publication date: 2002-04-25

Inventor: DOMINKE PETER (DE); LEIMBACH KLAUS-DIETER (DE); CAO CHI-THUAN (DE)

Applicant: ZF LENKSYSTEME GMBH (DE)

Classification:

- International: **B62D5/04; B62D5/04**; (IPC1-7): B62D5/04

- European: B62D6/00D2; B62D6/00H

Application number: DE20001052559 20001024

Priority number(s): DE20001052559 20001024

Also published as:



WO0236411 (A

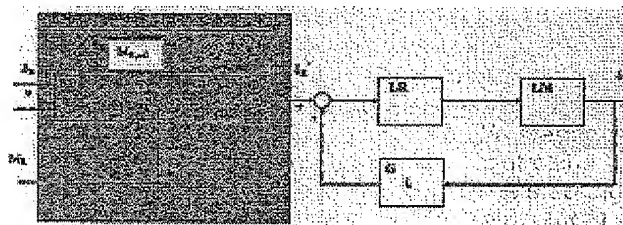
EP1337427 (A0

EP1337427 (B1

Report a data error he

### Abstract of DE10052559

The steer-by-wire system has no mechanical connection between the steering wheel and the steered vehicle wheels, with an electric motor providing a steering resistance for the rotation of the steering wheel and a steering motor (LM) controlling the steering movement of the wheels. The steering motor is controlled by the detected rotation of the steering wheel and by the wheel resistance force provided by a torque sensor or from the steering motor current.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
16 **DE 100 52 559 A 1**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 62 D 5/04**

21 Aktenzeichen: 100 52 559.8  
22 Anmeldetag: 24. 10. 2000  
43 Offenlegungstag: 25. 4. 2002

DE 100 52 559 A 1

71 Anmelder:  
ZF Lenksysteme GmbH, 73527 Schwäbisch Gmünd,  
DE

72 Erfinder:  
Dominke, Peter, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE;  
Leimbach, Klaus-Dieter, 73569 Eschach, DE; Cao,  
Chi-Thuan, 70825 Korntal-Münchingen, DE

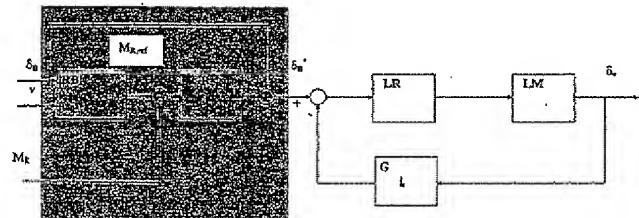
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 196 50 475 C1  
DE 199 12 169 A1  
DE 199 07 792 A1  
DE 198 33 189 A1  
DE 198 04 821 A1  
DE 198 04 675 A1  
DE 42 32 256 A1  
DE 40 30 846 A1  
US 60 32 757 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Lenkanlage

57 Lenkanlage, bei der im ungestörten Betrieb keine mechanische Verbindung zwischen einem bedienbaren Lenkrichtungsgeber (1) und einem gelenkten Fahrzeugrad vorgesehen ist, mit einem Lenksteller (LM), der auch von einer Fahrzustandsgröße gesteuert ist.  
Um ohne gesonderten Gierwinkel-, Gierwinkelgeschwindigkeits-, Gierwinkelbeschleunigungs- oder Querbewegungs-Sensor auskommen zu können, wird als steuernde Fahrzustandsgröße das vom Fahrzeugrad (2) auf den Lenksteller einwirkende Rad-Rückstellmoment ( $M_R$ ) oder die entsprechende Rad-Rückstellkraft verwendet.



DE 100 52 559 A 1

[0001] Die Erfindung geht von der Gattung aus, wie im unabhängigen Anspruch 1 angegeben.

[0002] Zugrunde gelegt wird ein SbW-System (SbW = 5 Steer by wire), welches einen elektrischen Lenksteller aufweist, der am Lenkgetriebe insbesondere der Vorderachse eines Kraftfahrzeuges oder jeweils an den beiden Vorderrädern angebracht ist. Der Fahrerlenkwunsch wird an einem Lenkrichtungsgeber (beispielsweise Lenkrad) durch einen 10 Geber abgegriffen. Die Rückwirkungen der Straße werden durch einen am Lenkrad angebrachten Aktuator an den Fahrer übermittelt.

[0003] Der Fahrerlenkwunsch wird mit Hilfe des Lenkstellers an wenigstens einem lenkbaren Fahrzeugrad, insbesondere an den Vorderrädern realisiert. Das durch den Wegfall der Lenksäule "verlorengegangene" Straßengefühl (Lenkgefühl), wovon der Fahrervunsch stark abhängt, wird mit Hilfe des am Lenkrad angebrachten Aktuators nachgebildet.

[0004] Ein wesentlicher Vorteil einer SbW-Lenkung besteht darin, dass der Lenksteller auch von Größen mitgesteuert werden kann, die Zustände des gelenkten Fahrzeuges oder auf das Fahrzeug von außen einwirkende Einflüsse repräsentieren wie beispielsweise Seitenkräfte, die ein Abdriften des Fahrzeuges von derjenigen Richtung bewirken können, die dem vorgegebenen Fahrerlenkwunsch entspricht.

[0005] Fig. 1 gibt übersichtlich die schematische Darstellung eines "Steer-by-Wire"-Systems wieder. Der Name "Steer-by-Wire" berücksichtigt die Tatsache, daß die Lenkung nicht über die konventionelle mechanische Lenksäule, sondern mit Hilfe eines Lenkstellers elektronisch realisiert wird.

[0006] Es bedeuten:

LRM Lenkradmotor

LM Lenkmotor (= Lenksteller)

$\delta_H$  Lenkwinkel

$\delta_v$  Lenkwinkel Vorderrad

$M_H$  Lenkadmoment

$M_R$  Rad-Rückstellmoment, gemessen am Lenkmotor

$I_H$  Strom am Lenkradmotor LRM

$I_R$  Strom am Lenkmotor LM

$U_H$  Spannung Lenkradmotor

$U_v$  Spannung am Lenkmotor

$v$  Fahrzeuggeschwindigkeit

$\mu$  Reibwert Straße/Reifen (= Kraftschlupfbeiwert)

$\omega$  Gierwinkelgeschwindigkeit.

SIM Rückwirkungs-Simulator

SW Sollwertbildung

LRR Lenkradregler

LR Lenkregler

[0007] Der durch einen Lenkwinkelsensor  $\delta_H$  erfasste Fahrerlenkwunsch wird gezielt mit Hilfe einer "Sollwertbildung" SW situationsabhängig unter Verwendung von fahrdynamischen Größen (wie z. B. Fahrergeschwindigkeit  $v$ , Gierwinkelgeschwindigkeit  $\omega$ ) modifiziert, bevor er als Sollwert an den Lenkregler LR weitergeleitet wird. Ein Elektromotor ist als Lenksteller (Lenkmotor LM) an der 60 Vorderachse angebracht.

[0008] Das durch den Wegfall der Lenksäule "verlorengegangene" Straßengefühl (Fahrgefühl), welches durch das Rad-Rückstellmoment am gelenkten Rad 2 bzw. das Handmoment  $M_H$  am Lenkrad 1 ausgedrückt wird und wovon der Fahrerlenkwunsch stark abhängt, wird mit Hilfe eines Rückwirkungs-Simulators SIM und einem sogenannten "Feedback-Aktuator (Lenkradmotor LRM) wiederhergestellt.

Der Feedback-Aktuator des Steer-by-Wire-Fahrzeugs (so genannter Lenkradsteller) besteht aus einem Elektromotor, der über ein Getriebe mit dem Lenkrad gekoppelt ist und mittels eines Lenkradreglers LRR geregelt wird.

[0009] Das Soll-Handmoment  $M_{H, \text{soll}}$  wird mit den Rad-Rückstellmomenten  $M_R$  oder Strömen  $I_R$  ermittelt, die mit einem am Lenksteller LM angebrachten Momentensensor oder Stromsensor gemessen werden. Alternativ kann das Soll-Handmoment  $M_{H, \text{soll}}$  auch mit Hilfe eines Feedback-Simulators aus Lenkwinkelsensoren  $\delta_v$  und anderen im Fahrzeug ohnehin vorhandenen Signalen (wie  $v$ ,  $\mu$ ) nachgebildet werden. Das Soll-Handmoment  $M_{H, \text{soll}}$  wird dem Lenkradregler LRR zugeführt, der den Lenkradsteller LRM so steuert, dass das Handmoment  $m_m$  (ermittelt mit geeigneten Sensoren) auf das Lenkrad übertragen wird.

[0010] Durch die Entkopplung von Lenkrad (Lenk-Richtungsgeber) und gelenkten Rädern ermöglichen SbW-Systeme fahrdynamische Lenkeingriffe ohne Rückwirkung auf das Lenkrad.

[0011] Ein Bereich der Fahrdynamikregelung ist die Vermeidung des Drehens des Fahrzeuges um die Hochachse durch Regelung der Gierwinkelgeschwindigkeit. Ein anderer Bereich der Fahrdynamikeingriffe umfasst die Verbesserung des Geradeauslaufs des Fahrzeuges (der durch Einflüsse wie Seitenwind, Fahrbahnneigung usw. gefährdet ist) durch Ausregelung von Seitenkräften.

[0012] Heutige Entwicklungen verwenden hierfür einen Drehratensensor, der das tatsächliche Fahrzeugverhalten sensiert. Mit Hilfe eines Gierreglers wird die Abweichung zwischen Fahrervorgabe und dem tatsächlichen Fahrzeugverhalten ausgeregelt.

[0013] Eine Anordnung zur Verbesserung der Querdynamik durch Fahrdynamikregelung ist in Fig. 2 dargestellt, worin mit G das Lenkgetriebe bezeichnet ist, das dem Lenksteller LM nachgeordnet ist. Der Fahrerlenkwunsch  $\delta_H$  wird mit Hilfe eines Gierreglers GR so angepasst, dass ein gewünschtes Gierverhalten eingehalten werden kann. Ein Referenzmodell (Referenzbildung) dient dazu, das gewünschte Gierverhalten  $\omega_{\text{ref}}$  vorzugeben.

$$45 \quad \omega_{\text{ref}} = \left[ \frac{v}{l \left( 1 + \frac{v^2}{v_{ch}^2} \right)} \cdot \frac{\delta_H}{i_s} \right] \cdot \frac{1}{1 + T_{\text{ref}} s}$$

50  $\omega_{\text{ref}}$ : Soll-Giergeschwindigkeit

$v$ : Geschwindigkeit

$v_{ch}$ : Charakteristische Geschwindigkeit ( $\approx 60 \dots 100 \text{ km/h}$ )

$l$ : Achsstand

55  $T_{\text{ref}}$ : Zeitkonstant

$s$ : Laplace-Operator

$i_s$ : Übersetzungsverhältnis des Lenkgetriebes

[0014] Der Gierregler GR kann ein standardmäßiger PID-Regler oder ein robuster Modellfolgeregler (wie z. B. in EP 550 527 = DE 40 30 846 dargestellt) sein. Der resultierende Ausgang des Gierreglers bestimmt den modifizierten Fahrerlenkwunsch  $\delta_H^*$ .

[0015] Anstelle der Soll-Giergeschwindigkeit  $\omega_{\text{ref}}$  kann auch die Soll-Querbeschleunigung des Fahrzeuges  $a_{y, \text{ref}}$  oder eine Kombination dieser beiden Größen verwendet werden.

[0016] Der Nachteil bei dieser Vorgehensweise des Standes der Technik ist, dass aufwendige, teure Drehraten- bzw.

Beschleunigungssensoren zusätzlich eingesetzt werden müssen. Außerdem steht die Information über das Gierverhalten erst zur Verfügung, wenn das Fahrzeug bereits von der vorgegebenen Richtung abgewichen ist.

#### Vorteile der Erfindung

[0017] Der Anmeldungsgegenstand mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil, eine Fahrdynamikregelung ohne Zusatzsensoren zu ermöglichen.

[0018] Weitere Vorteile sind:

- Flexible Struktur hinsichtlich Funktionsrealisierung
- Verbesserung der Querdynamik durch Modifikation des Fahrerlenkwunsches
- Integration der Funktion in den Lenkkomfort eines SbW-Systems
- Der Drehratensensor entfällt. Aktive fahrdynamische Eingriffe ohne zusätzliche teure Sensoren (Gieratensoren) sind möglich
- Die Regelung findet statt, bevor Reaktionen am Fahrzeug bemerkbar sind

[0019] Dazu können beitragen:

- Steer-by-Wire mit elektrischen/elektrohydraulischen Lenkstellern
- Ermittlung des Gierverhaltens aus Fahrzeug- und Reifenmodell bzw. aus Lenkstellerströmen bzw. -momenten
- Realisierung des fahrdynamischen Eingriffes aus Rad-Rückstellmomenten mit dem Lenksteller

[0020] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben, deren Merkmale auch, soweit sinnvoll, miteinander kombiniert werden können.

#### Zeichnungen

[0021] Schematisch ist gezeigt in:

[0022] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines "Steer-by-Wire"-Systems mit einem Lenksteller,

[0023] Fig. 2 eine als bekannt vorausgesetzte Anordnung zur Verbesserung der Querdynamik durch Fahrdynamikregelung,

[0024] Fig. 3 eine erfindungsgemäße Fahrdynamikregelung mit Hilfe der Rad-Rückstellmomente.

[0025] Im Wesentlichen gleiche Teile in unterschiedlichen Figuren sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0026] In Fig. 1 wird das Rad-Rückstellmoment  $M_R$  durch eine Momentenmessung bzw. eine Strommessung des Lenkstellers LM, wozu die Messmittel bei einem Steer-by-Wire-System ohnehin schon vorhanden sind, ermittelt und aufbereitet. Dies kann auch über eine Modellbildung mit Hilfe ohnehin bekannter Daten, insbesondere Fahrzeugdaten ( $\mu$ ,  $v$ ,  $\delta_v$ , etc.) berechnet werden. Eine Kombination beider Verfahren ist möglich.

[0027] Zur Ermittlung des Rad-Rückstellmoments  $M_R$  durch eine Messung wird das Rad-Rückstellmoment  $M_R$  mittels Momentenmessung an den Vorderrädern bzw. über eine Messung des Lenkstellerstroms  $I_R$  gemessen und konvertiert. Nach entsprechender Aufbereitung und Filterung kann das Rad-Rückstellmoment  $M_R$  zur Fahrdynamikregelung verwendet werden. Dazu sind in Fig. 1 die Blöcke SW, LR und LM mitsamt dem zugehörigen Lenkgetriebe durch Fig. 3 zu ersetzen, worin G das Lenkgetriebe bezeichnet.

[0028] Zur modellgestützten Nachbildung des Rad-Rück-

stellmoments wird über ein Fahrzeugmodell (im einfachsten Fall: "Einspurmodell") anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  und des Lenkwinkels  $\delta_v$  das Gierverhalten des Fahrzeugs und daraus die Schräglaufwinkel der Räder berechnet.

5 Durch die Verwendung eines Reifenmodells wird das Rad-Rückstellmoment  $M_R$  an den Vorderrädern berechnet.

[0029] Zur Erläuterung der Fahrdynamikregelung mit Hilfe des Rad-Rückstellmomentes dient die schematische Darstellung eines Regelkreises nach Fig. 3.

10 [0030] Das durch eine Momentenmessung  $M_R$  bzw. eine Strommessung  $I_R$  des Lenkstellers LM ermittelte Rad-Rückstellmoment  $M_R$  wird aufbereitet und bewertet. Durch Filterung können Fahrbahnnunebenheiten, Vibrationen, Abdrücken des Rades am Bordstein etc. eliminiert werden. Wichtige Momentenänderungen, die bei Fahrbahnbelagsänderungen, Fahren auf Glatteis, Seitenwind etc. auftreten, werden unverändert an einen Gierregler GR übertragen.

15 [0031] Da bei bekanntem  $\mu$  ein fester Zusammenhang zwischen Lenkwinkel  $\delta_v$ , Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  und Rad-Rückstellmoment  $M_R$  (siehe oben) besteht, kann ein Sollwert  $M_{R,ref}$  des Rad-Rückstellmomentes aus Lenkwinkel  $\delta_v$  oder  $\delta_H$  und Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  bestimmt werden.

[0032] Eine Abweichung der Soll- und Ist-Rad-Rückstellmomente kann somit mit Hilfe des Gierreglers GR durch eine Lenkwinkel-Korrektur kompensiert werden.

20 [0033] Beispiel: Fahrerwunsch ist Geradeausfahrt. Das daraus berechnete Soll-Rad-Rückstellmoment  $M_{R,ref}$  ist Null. Treten (durch Seitenwind, Fahrbahnneigung usw.) Seitenkräfte am Fahrzeug und damit an den Rädern auf, so entsteht ein Schräglauf. Der Schräglaufwinkel, der normalerweise eine Richtungsänderung des Fahrzeugs zur Folge hat und durch den Fahrer durch Gegenlenken ausgeregelt werden muss, kann durch eine rückstellmoment- bzw. rückstellkraftabhängige Radwinkel-Korrektur, wie oben gezeigt, kompensiert werden. Dazu müssen lediglich die Seitenkräfte oder das Rad-Rückstellmoment sensiert werden.

#### Patentansprüche

1. Lenkanlage, bei der im ungestörten Betrieb keine mechanische Verbindung zwischen einem bedienbaren Lenkrichtungsgeber (1) und einem gelenkten Fahrzeugrad vorgesehen ist, mit einem Lenksteller (LM), der auch von einer Fahrzustandsgröße gesteuert ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass als steuernde Fahrzustandsgröße das vom Fahrzeugrad (2) auf den Lenksteller einwirkende Rad-Rückstellmoment ( $M_R$ ) oder die entsprechende Rad-Rückstellkraft dient.

2. Lenkanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung des Rad-Rückstellmoments ( $M_R$ ) ein Momentensensor vorgesehen ist.

3. Lenkanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein elektromagnetischer Lenkssteller (LM) vorgesehen ist, dessen Strom ( $I_R$ ) zur Ermittlung des Rad-Rückstellmoments ( $M_R$ ) dient.

4. Lenkanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Rad-Rückstellmoment ( $M_R$ ) mit Hilfe eines Fahrzeugmodells und eines Reifenmodells nachgebildet wird unter Verwendung der Fahrzeuggeschwindigkeit ( $v$ ) und des Lenkwinkels ( $\delta_v$  oder  $\delta_H$ ).

5. Lenkanlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus Fahrgeschwindigkeit ( $v$ ) und Lenkwinkel ( $\delta_v$  oder  $\delta_H$ ) ein Referenz-Rad-Rückstellmoment ( $M_{R,ref}$ ) gebildet und mit dem Rad-Rückstellmoment ( $M_R$ ) verglichen wird, dass das Vergleichsergebnis einem Gierregler (GR) zu-

geführt wird,

dass zum Ausgangssignal des Gierreglers (GR) der Lenkwinkel ( $\delta_v$  oder  $\delta_H$ ) hinzugefügt wird, um einen korrigierten Lenkwinkel ( $\delta_H^*$ ) zu bilden, der einen Lenkregler (LR) für den Lenksteller (LM) steuert.

5

6. Lenkanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Rad-Rückstellmoment ( $M_R$ ) auch zur Steuerung eines Aktuators (LRM) dient, der zur Simulation des Lenkgefühls am Lenkrichtungsgeber vorgesehen ist.

10

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

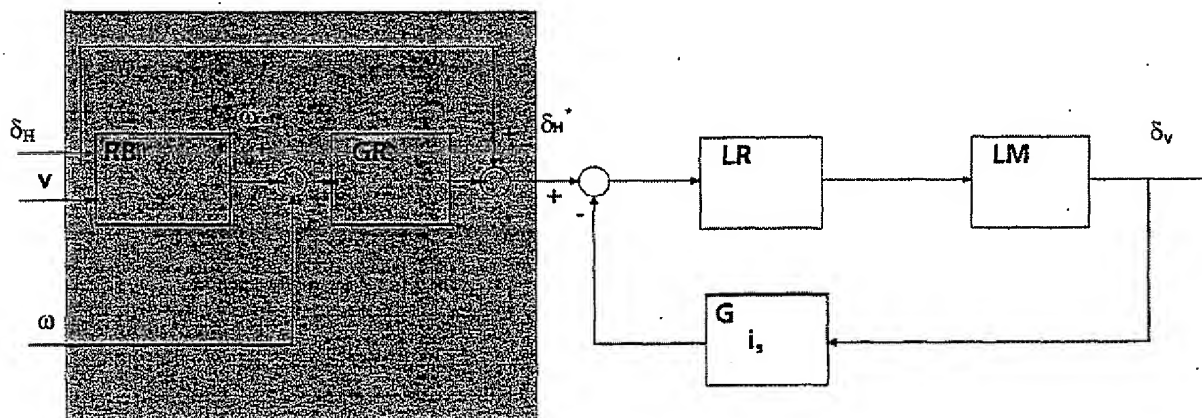
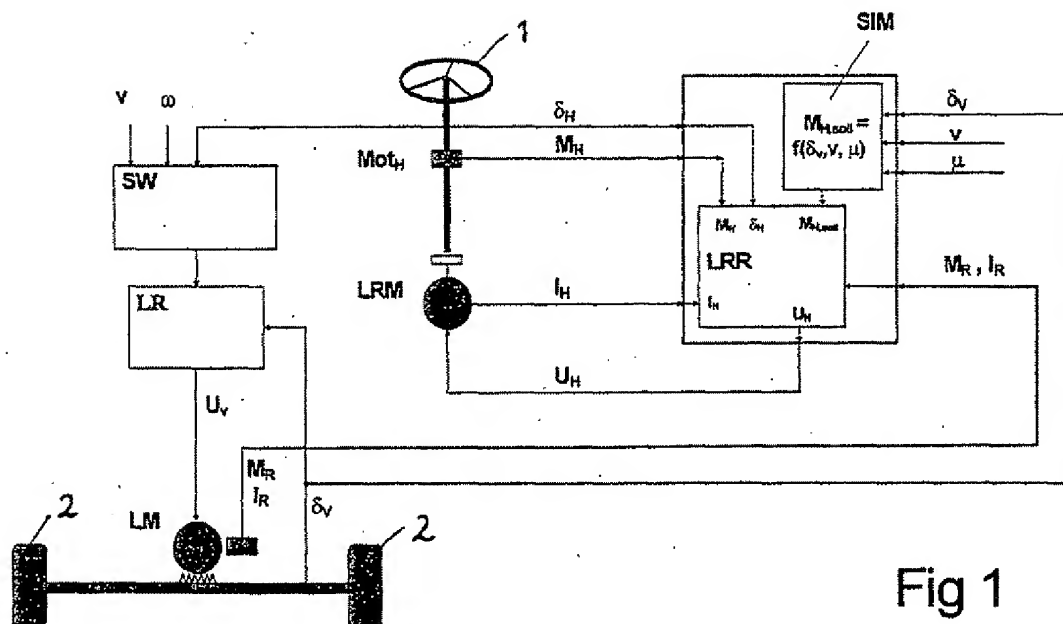
45

50

55

60

65



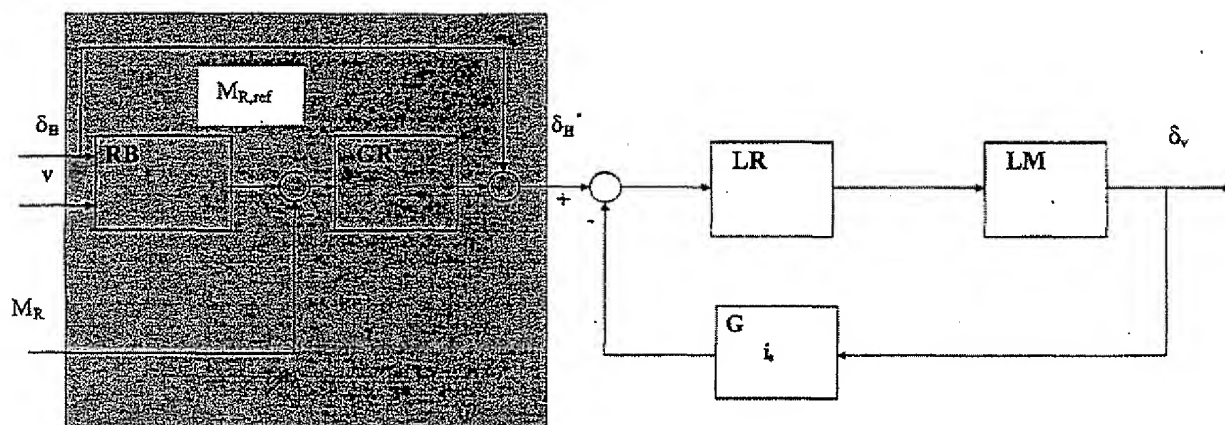


Fig 3